

Los Programas Marco Euratom contemplaron, entre sus temas de investigación, el análisis del cambio climático como base de predicción para evaluar los riesgos en la seguridad de los depósitos de residuos radiactivos, derivados de alteraciones climáticas venideras. Todo parece indicar que el proceso actual de cambio climático no tiene retroceso posible y que habrá que esperar un periodo temporal geológico para acercarse de nuevo a las condiciones que había antes de la revolución industrial. Con todo, parece imprescindible el intento de corrección del impacto del cambio climático, procurando un aterrizaje suave en la nueva situación; quizá ello sólo sea posible siguiendo una receta elemental a base de concienciación social, energías renovables, energía nuclear, y con nuevos proyectos de investigación que permitan determinar cómo se ha registrado la influencia antrópica desde el siglo XIX. ■

POR **Trinidad de Torres**¹, **José Eugenio Ortiz**¹, **Maruja Valle**², **Antonio Delgado**³ y **Vicente Soler**⁴.

Nuevas técnicas de datación permiten reconstruir la historia climática de la Península Ibérica

Pasado y futuro del clima

EL ANÁLISIS DEL CLIMA DEL PASADO como base de predicción del clima del futuro ha sido y es de gran interés en la sociedad y específicamente en el ámbito científico, tecnológico e industrial. Aspectos tan relevantes como la sostenibilidad ambiental en el campo de los recursos energéticos y en la gestión de residuos tóxicos y radiactivos, o en la planificación y usos del territorio, deben considerar la evolución

climática para una correcta toma de decisiones. En este ámbito, y en lo que respecta a la gestión de residuos radiactivos, la Unión Europea ha venido promoviendo en su Programas Marco de I+D acciones específicas para mejorar tanto el conocimiento del clima de los dos últimos millones de años, como las herramientas de predicción de su evolución futura. Dentro de estos programas, Enresa y un conjunto de centros de investigación liderados por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM-ETSIMM) han podido profundizar en la evolución del clima en la Península Ibérica a lo largo de los últimos millones de años (Periodo Cuaternario) aportando una concepción más clara y precisa de su evolución.

Dicha mejora del conocimiento ha sido posible gracias al desarrollo de nuevas técnicas de datación, acompañadas de intensos trabajos de investigación en campo y laboratorio.

¿Cómo estudiar el paleoclima?

La predicción del futuro en base al estudio del pasado se denominó “el principio del uniformismo” y fue definido por Hutton en el siglo XVI: los escenarios geológicos actuales permiten explicar los del pasado y, por extensión en nuestro caso, los del futuro.

Sin embargo, la realización de análisis paleoclimáticos fiables, no es fácil, dado que deben cumplirse dos premisas básicas:

— Disponer de registros geológicos de calidad y continuidad suficientes, que

¹ Laboratorio de Estratigrafía Biomolecular. Escuela Superior de Ingenieros de Minas de Madrid (Universidad Politécnica de Madrid).

² Facultad de Ciencias (Universidad de Salamanca).

³ Estación Experimental del Zaidín (CSIC). Granada.

⁴ Instituto de Agrobiología y Productos Naturales (CSIC). La Laguna, Tenerife.

cuenten con elementos capaces de reflejar los cambios climáticos que se han sucedido a lo largo del tiempo.

— Disponer de técnicas adecuadas para situar en el tiempo geológico los acontecimientos detectados.

En pocas palabras, que existan técnicas de datación y materiales datables. La presencia de fauna de zonas frías en la Península Ibérica, testimonio de periodos glaciares, ha quedado ampliamente documentada: huesos de mamut, rinoceronte lanudo y homínidos aparecen por doquier. Ahora bien, en muchos casos no se conoce su edad geológica precisa ni, evidentemente, la duración de este episodio frío; obviamente también aparecen restos de representantes de fau-

nica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, el método de datación por racemización de aminoácidos, aplicándose inicialmente a la datación de travertinos para cálculos de velocidad de incisión fluvial con resultados espectaculares (terrazas travertínicas de Priego, Cuenca). Posteriormente se estudiaron dos paleolagos: la cuenca de Guadix-Baza y la turbera de Padul, ambas en la provincia de Granada (figura 1).

La cuenca de Guadix Baza es una amplia zona lacustre de varios miles de kilómetros cuadrados de extensión. Durante gran parte del Cuaternario estuvo ocupada por lagos más o menos salinos, con un ecosistema asociado de sabana africana donde medraron animales

duda de la presencia humana en la zona ya que recientemente se han localizado herramientas de piedra de 1,1 millones de años de antigüedad.

Dejando de lado el tema conflictivo de los vertebrados fósiles, el proyecto se enfocó al estudio de unos diminutos habitantes de los charcos salinos: los ostrácodos, pequeños crustáceos de concha calcítica que aparecen en gran número en muchos de los cientos de muestras recogidas (figura 2) y a los que se les pudo aplicar la datación por racemización. De forma sencilla puede decirse que la racemización es un proceso dependiente de la temperatura y del tiempo que afecta a los aminoácidos de los seres vivos, L-aminoácidos, que tras

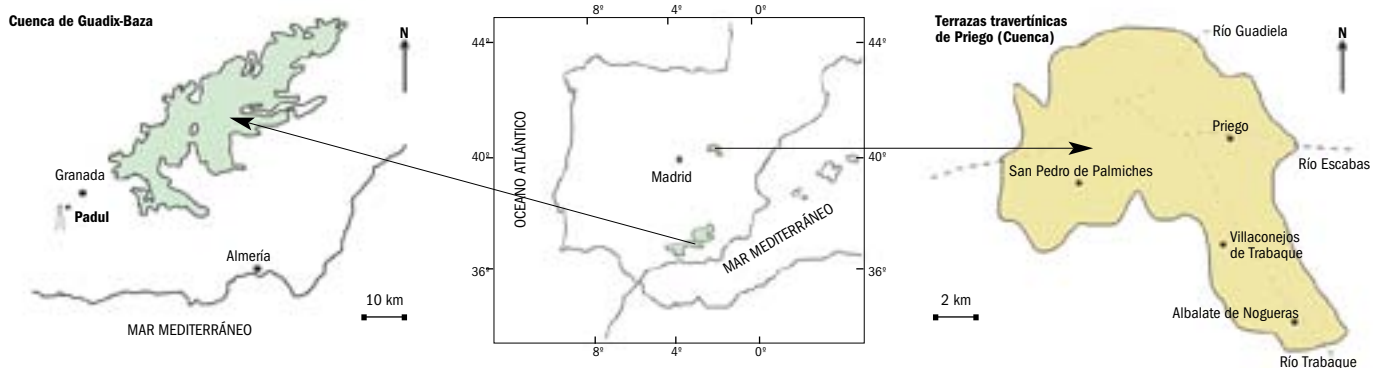


Figura 1. Situación geográfica de la cuenca de Guadix-Baza, la turbera de Padul y las terrazas travertínicas de Priego. Figure 1. Geographical location of the Guadix-Baza basin, Padul peat bog and limestone terraces at Priego.

na cálida que presentan idénticas incertidumbres.

Para poder cumplir estas premisas fue necesario:

— Buscar lugares en la Península Ibérica donde existieran registros geológicos continuos de los últimos centenares de miles de años y que además pudieran reflejar los cambios acontecidos.

— Completar las técnicas analíticas habituales con otras más precisas que permitieran poder cuantificar dichos registro y cambios.

Como áreas de trabajo se seleccionaron como más apropiadas antiguos lagos, dada su capacidad de registro de los cambios ambientales. Además del uso de las técnicas convencionales, se desarrolló, en el Laboratorio de Estratigrafía Biomolecular de la Escuela Téc-

como el tigre de dientes de sable, panteras, cebras rinocerontes y homínidos. Aunque el resto denominado “Hombre de Orce” ha estado sometido a gran controversia paleoantropológica, no hay

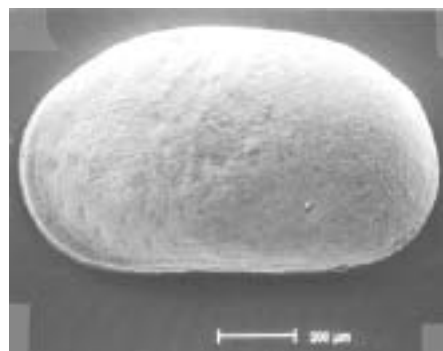


Figura 2. Imagen tomada con microscopio electrónico de una valva del ostrácodo *Cyprideis torosa*. Figure 2. Electron microscope image of a valve of the ostracod *Cyprideis torosa*.

su muerte se van transformando en D-aminoácidos. La cuantificación del proceso permite establecer el tiempo transcurrido desde la muerte del ser vivo, dando información además de la historia térmica de la zona. Esta técnica se completó con el estudio de las relaciones isotópicas $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ y $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ que proporcionaron información sobre las paleotemperaturas y la biomasa vegetal. El estudio de las inclusiones fluidas existentes en los yesos aportó valiosa y precisa información sobre la salinidad de estos antiguos lagos.

Estos datos, junto con el estudio de los granos de polen conservados en la turbera de Padul y el resto de datos de sedimentos geológicos, paleontológicos y geofísicos, han permitido una muy buena reconstrucción paleoclimática de esta

zona de la Península Ibérica y su conexión con el resto de Europa.

El clima en Iberia desde hace dos millones de años

El clima en Iberia, al menos en su mitad sur, se rigió según parámetros climáticos bien distintos de los que se habían definido para Europa transpirenaica:

— Obviamente la zona no fue nunca afectada por procesos de glaciario. Ello queda claramente indicado, además, por la persistencia de faunas cálidas que difícilmente habrían vuelto a colonizar esta zona de la Península.

— Durante los periodos cálidos la zona habría estado sometida a una aridez extrema, aunque los lagos posiblemente no llegaron a desaparecer.

— El análisis de la periodicidad climática revela que existió una ciclicidad de gran amplitud, de unos 520.000 y 315.000 años, que se superpuso a las de orden menor, 100.000, 40.000 y 17.000 años (figura 3). Estas repeticiones están gobernadas por forzamientos astronómicos ligados a cambios en la excentricidad de la órbita terrestre, inclinación

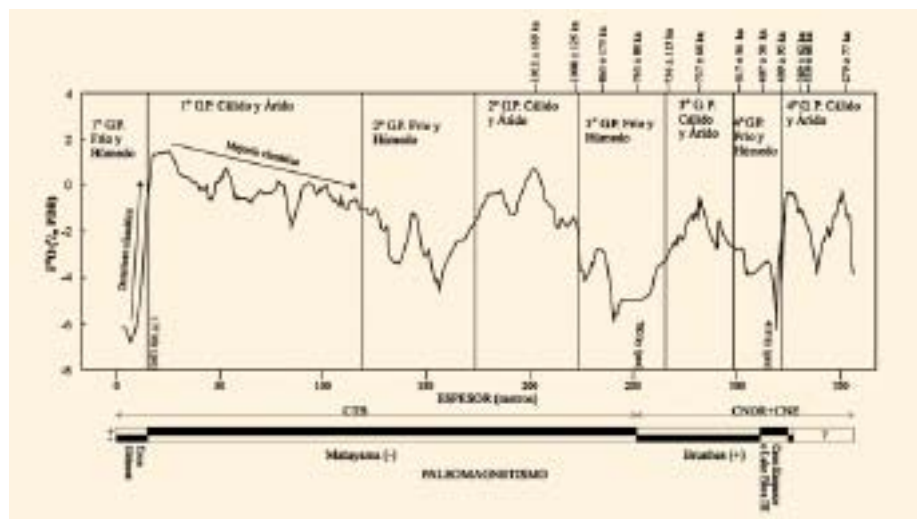


Figura 3. Curva suavizada de los valores de la $\delta^{18}\text{O}$ obtenidos en valvas del ostrácodo *Cyprideis torosa* de la sección estratigráfica tipo de la cuenca de Guadix-Baza con su interpretación paleoambiental (Torres et al. 2003, PADAMOT, BIOCLIM). Figure 3. Smoothed curve of the values of $\delta^{18}\text{O}$ obtained in valves of the ostracod *Cyprideis torosa* from the type stratigraphic section of the Guadix-Baza basin, with paleo-environmental interpretation (Torres et al. 2003, PADAMOT, BIOCLIM).

y precesión del eje de rotación de la Tierra. Estos cambios en la geometría orbital determinan oscilaciones fundamentales en la cantidad de energía que recibe la Tierra desde el Sol y, cuando se combinan las situaciones más desfavorables, se produce un enfriamiento generaliza-

do que culmina con la expansión de los casquetes polares, provocando descensos estimados en cien metros del nivel de mar. En Iberia, en especial en su mitad sur y posiblemente, la meseta norte, el comportamiento climático tuvo un *sello mediterráneo* con mayor hume-

New dating techniques allow the climatic history of the Iberian Peninsula to be reconstructed

The past and future of the climate

One of the subjects of research included in the Euratom Framework Programmes was analysis of climate change as a basis for prediction allowing for assessment of the risks for the safety of radioactive waste repositories that will arise as a result of future climate alterations. Everything seems to suggest that there is no going back on the current process of climate change and that it will be necessary to wait for a geological period to pass to get close again to the conditions that existed before the industrial revolution. One way or an-

other, an attempt to correct the impact of climate change would appear to be essential, in order to ensure a soft landing in the new situation. It is possible that this might be achieved only through an elementary approach based on social awareness, renewable energy sources and nuclear power, accompanied by new research projects making it possible to determine the way in which the influence of mankind has been felt since the 19th century. ■ BY Trinidad de Torres¹, José Eugenio Ortiz¹, Maruja Valle², Antonio Delgado³, Vicente Soler⁴.

Analysis of the climate in the past as a basis for prediction of the climate in the future has been, and continues to be, of great interest for society, specifically in the fields of science, technology and industry. Aspects as relevant as environmental sustainability in the field of energy resources and in the management of toxic and radioactive waste, or in land planning and use, should take the evolution of the climate into consideration in order to ensure correct

decision-making. In this respect, and as regards radioactive waste management, the European Union has been promoting specific actions through its R&D Framework Programmes to improve both understanding of the climate over the past two million years and the tools for prediction of its future evolution. Within the framework of these programmes, Enresa and a series of research centres led by the University College of Mining Engineering of the Polytechnic University of Madrid (UPM-ETSIMM) have been able to gain insight into the evolution of the climate on the Iberian Peninsula over the past few million years (Quaternary Period), providing a clearer and more accurate picture of this evolution. This improved understanding has been possible thanks to the development of new dating techniques, accompanied by intensive research work in the field and the laboratory.

¹ Biomolecular Stratigraphy Laboratory. University College of Mining Engineering of Madrid (Polytechnic University of Madrid).

² Faculty of Sciences (University of Salamanca).

³ Zaidín Experimental Station (CSIC). Granada.

⁴ Institute of Agricultural Biology and Natural Products (CSIC). La Laguna, Tenerife.

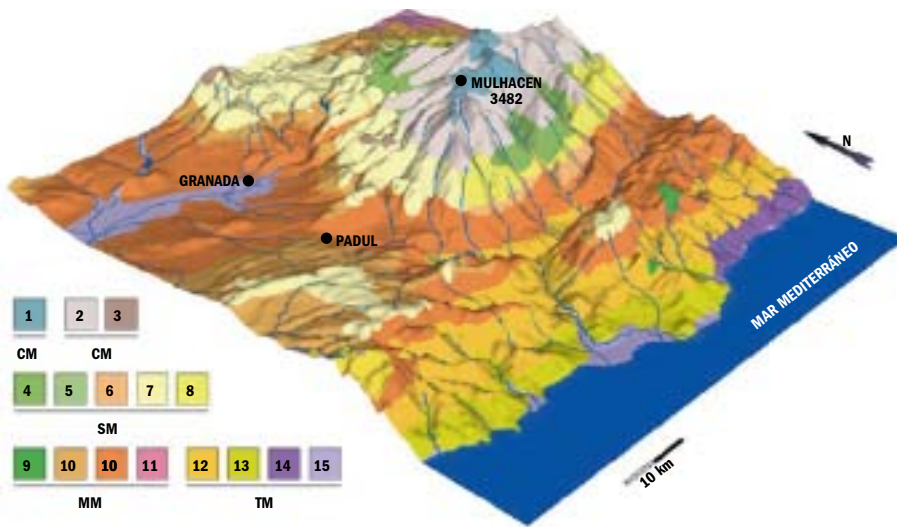


Figura 4. Esquema gráfico en 3-D de la zona de la turbera de Padul con los pisos bioclimáticos de Sierra Nevada: criomediterráneo (CM), oromediterráneo (OM), supramediterráneo (SM), mesomediterráneo (MM), termomediterráneo (TM). Actualmente la turbera de Padul recibe lluvia de polen de todos ellos. Figure 4. 3-D graphic representation of the area of the Padul peat bog with the bioclimatic divisions of Sierra Nevada: cryo-Mediterranean (CM), oro-Mediterranean (OM), supra-Mediterranean (SM), meso-Mediterranean (MM), thermo-Mediterranean (TM). The Padul peat bog currently receives a rain of pollen from all.

dad en los periodos fríos y un incremento de aridez durante los cálidos. Este tipo de comportamiento climático también se ha encontrado en registros lacustres del Mar Muerto en Israel.

Desgraciadamente, el registro sedi-

mentario de la cuenca de Guadix Baza se interrumpió hace algo más de 200.000 años, cuando el Guadalquivir Menor se abrió paso a través de las sierras que configuran su límite norte y la cuenca empezó a vaciarse debido a la erosión, pero el

estudio del registro paleoclimático de la turbera de Padul —mediante la perforación de un sondeo con recuperación de testigo continuo— se planteó como un repuesto por si el estudio del registro de la cuenca de Guadix Baza no proporcionara suficiente información. Es obvio que no fue así (ver figura 4).

Se ha podido constatar que la región mediterránea tuvo un carácter de *refugio* de especies vegetales durante el Cuaternario. Esto explica que solamente en episodios cortos muy concretos los *Quercus* sp., típicos del clima mediterráneo, llegaron a desaparecer y que, por el contrario, pervivieran prolongadamente especies vegetales que faltan en el registro europeo transpirenaico desde hace casi dos millones de años.

Mirando al futuro

Las primeras modelaciones de evolución futura del clima se realizaron bajo las premisas de que el comportamiento climático de Iberia sería similar al de zonas centroeuropeas y que los forzamientos (factores gobernantes) del clima serían los puramente astronómicos,

How does one study the paleoclimate?

Prediction of the future on the basis of study of the past is known as the “principle of uniformity” and was defined by Hutton in the 16th century: current geological scenarios allow those of the past to be explained and, by extension in our case, those of the future.

However, the performance of reliable paleoclimatic analyses is not a simple matter, since two basic premises must be fulfilled:

—Availability of geological registers of sufficient quality and continuity, with elements capable of reflecting the climate changes that have occurred over time.

—Availability of adequate techniques for the events detected to be situated in geological time.

In short, there is a need for both dating techniques and materials for dating. The presence on the Iberian Peninsula of fauna typical of cold areas, a testimony to the existence of glacial periods, has been widely documented: the bones of mammoths, woolly rhinoceros and hominids appear everywhere. However, in many cases the precise geological age of these remains is not known, the same obviously being true for the duration of the cold period in question. There are also remains of species belonging to warmer periods, which present the same uncertainties.

In order to fulfil these premises it was necessary:

—Search for locations on the Iberian Peninsula with continuous geological registers for the last few hundreds of thousands of years and capable of reflecting the changes occurring.

—Complete the habitual analytical techniques with other more accurate approaches making it possible to quantify these registers and changes.

The working areas selected as being most appropriate were ancient lakes, due to their capacity to register environmental changes. In addition to using conventional techniques, the method of dating by amino-acid racemisation was developed at the Biomolecular Stratigraphy Laboratory of the University

College of Mining Engineering of Madrid, this being applied initially to the dating of freshwater limestones for the calculation of fluvial incision rates, with spectacular results (limestone terraces at Priego, Cuenca). Two paleo-lakes were subsequently studied: the Guadix-Baza basin and the Padul peat bog, both in the province of Granada (figure 1).

The Guadix Baza basin is a large lacustrine area measuring several thousand square kilometres. For a large part of the Quaternary it was occupied by more or less saline lakes with an ecosystem associated with the African savannah, inhabited by species such as the sabre-toothed tiger, panthers, zebras, rhinoceros and hominids. Although the remains of the so-called “Orce Man” have been the subject of great paleo-anthropological controversy, there can be no doubt as regards the presence of humans in the area, since 1.1 million-year old stone tools have recently been discovered.

Leaving aside the controversial issue of fossil vertebrates, the project focussed on the study of certain diminutive inhabitants of the saline ponds: the ostracods, small crustaceans with calcium shells that appear in large numbers in many of the hundreds of samples taken (figure 2) and to which it was possible to apply racemisation dating. Put simply, racemisation may be described as being a temperature and time-dependant process affecting the amino-acids of living beings, L-amino-acids that, after death, transform into D-amino-acids. Quantification of this process makes it possible to establish the time that has passed since the death of the living being, providing information also on the thermal history of the area. This technique was completed with study of the isotopic ratios $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, which provided information on paleo-temperatures and plant biomass. The study of the fluid inclusions existing in gypsums provided accurate and valuable information on the salinity of these ancient lakes.

These data, along with the study of the grains of pollen conserved in the Padul peat bog and the other logical, paleontological and geophysical data ▶

basados en las teorías de Milankovitch. Esto significaba que el clima se dirigía a un escenario de glaciación en el que en algunas zonas de Europa (Escandinavia) pasarían a estar cubiertos por los hielos árticos con espesores kilométricos. En Iberia en los próximos cien años el escenario climático sería de tipo taiga y tundra.

Estas simulaciones de escenarios climáticos futuros de Iberia se vieron modificadas con la información aportada por el análisis paleoclimático del registro de la cuenca de Guadix Baza donde, como ya se ha comentado anteriormente, se demuestra que la evolución climática *Milankovitch puro* de Iberia del pasado estaría reflejada en periodos pluviales e interpluviales que, respectivamente, coincidirían con fases frías y cálidas del clima, con ausencia de glaciario cuaternario.

El proyecto BIOCLIM de la Unión Europea dio un giro copernicano a las modelaciones y escenarios recreados a partir de la teoría, evidentemente cierta, de Milankovitch: puso sobre la mesa la influencia antrópica debida al CO₂ atmosférico de la Era Industrial, modelando tres escenarios de CO₂

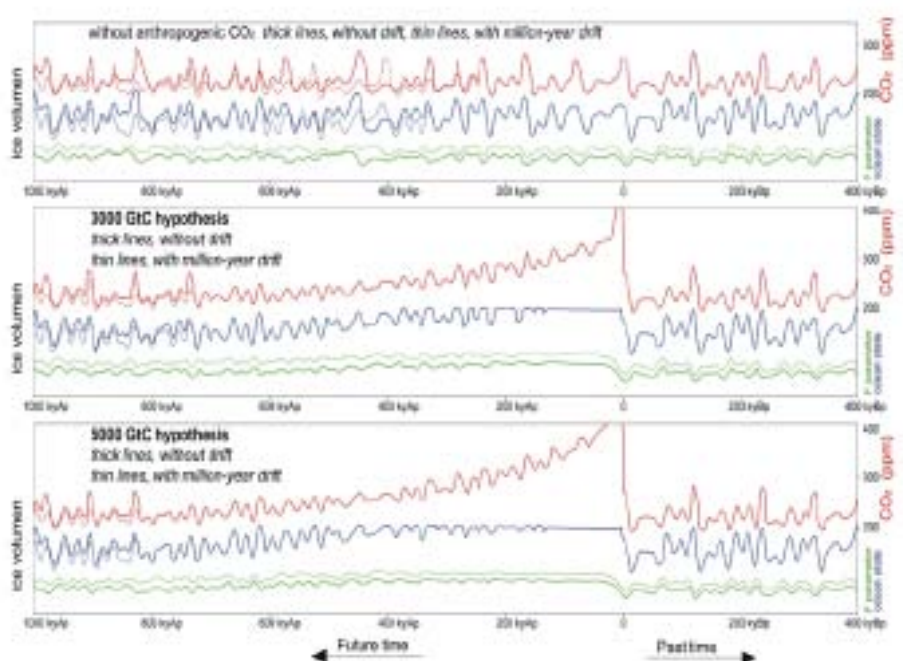


Figura 5. Síntesis evolutiva del nivel del mar y de la concentración atmosférica del CO₂ en los tres escenarios: natural, con CO₂ y alto consumo de combustibles fósiles (modificado de BIOCLIM). Figure 5. Evolutionary synthesis of sea level and atmospheric concentration of CO₂ in the three scenarios: natural, with CO₂ and high consumption of fossil fuels (modified from BIOCLIM).

(natural, moderado y elevado) que se refleja en la figura 5.

Es fácil deducir que la afección climática de tipo antrópico es, lisa y llana-

mente, irreversible y que la vuelta a condiciones naturales, forzamiento astronómico, tendría lugar en el transcurso de varios cientos de miles de años.

► on sediments, have made it possible to achieve a very good paleo-climatic reconstruction of this area of the Iberian Peninsula and its connection with the rest of Europe.

The Iberian climate over the last two million years

The climate in Iberia, at least in the southern half, was governed by climatic parameters very different from those defined for the Europe to the north of the Pyrenees:

—Obviously, the area was never affected by glacial processes. This is clearly indicated also by the persistence of warm climate faunas, which would have been unlikely to re-colonise this area of the peninsula.

—During the warmer periods the area would have been subjected to extremely arid conditions, although the lakes possibly never disappeared.

—Analysis of the climatic periodicity reveals that there was a cyclic phenomenon of great amplitude, of some 520,000 and 315,000 years, superimposed on others of a lesser order, 100,000, 40,000 and 17,000 years (figure 3). These repetitions are governed by astronomic forcing linked to changes in the eccentricity of the terrestrial orbit and the inclination and wander of the axis of rotation of the Earth. These changes in orbital geometry determine the fundamental oscillations in the amount of energy received by the Earth from the Sun and, when the most unfavourable conditions combine, there is a general cooling that culminates with the expansion of the polar ice caps, causing a lowering of sea level that has been estimated at one hundred metres. In Iberia, and especially in the southern half and possibly the northern plateau, the behaviour of the climate was *Mediterranean in nature*, with higher levels of humidity during the colder periods and increased aridness during warmer periods. This type of climate behaviour has been seen also in lacustrine registers from the Dead Sea in Israel.

Unfortunately, the sedimentary register of the Guadix Baza basin was interrupted somewhat more than 200,000 years ago when the minor Guadalquivir

opened up a passage through the hills forming its northern limit and the basin began to empty due to erosion. However, the study of the paleo-climatic register of the Padul peat bog – through the drilling of a borehole and the recovery of a continuous sample – was set up as a stand-by approach in case the study of the register of the Guadix Baza basin did not provide sufficient information. Quite clearly this was not the case (see figure 4).

It has been established that the Mediterranean region served as a *refuge* for plant species during the Quaternary. This would explain why the *Quercus* sp. typical of the Mediterranean climate disappeared only during highly specific and short periods and why, on the other hand, plant species lacking in the trans-Pyrenean European register for almost the last two million years survived over long periods.

Looking towards the future

The first models of the future evolution of the climate were developed under the premises that the behaviour of the climate in Iberia would be similar to that of central European areas and that climate forcing (governing factors) would be purely astronomic, based on the theories of Milankovitch. This meant that the climate was moving towards a glaciation scenario in which certain areas of Europe (Scandinavia) would be covered by arctic ice with a thickness of several kilometres. In Iberia, the climatic scenario in the next one hundred years would be of the taiga and tundra type.

These simulations of future climatic scenarios in Iberia were modified on the basis of the information provided by the paleo-climatic analysis of the registers of the Guadix Baza basin which, as has been commented on above, demonstrate that the *purely Milankovitch* evolution of the climate in Iberia in the past would be reflected in pluvial and inter-pluvial periods that would coincide respectively with cold and warm periods, with the absence of Quaternary glacial phenomena.

Se ha podido constatar que las respuestas al forzamiento de insolación parecen manifestarse más tempranamente en el hemisferio sur y los trópicos que en el hemisferio norte. La Antártida va a tener una influencia decisiva en la evolución futura del clima ya que controla la formación de salmuera salina: en periodos glaciares hay una marcada estratificación térmica y salina del agua del mar (fría y más salina debajo), mientras que en periodos interglaciares, como hoy día, las aguas profundas son frías pero bastante poco salinas, fenómeno agravado actualmente por la fusión acelerada del hielo antártico. Esto supone menor concentración de CO₂ atmosférico en periodos fríos y mayor en periodos cálidos. Las burbujas de aire ocluidas en el hielo ártico del sondeo Vostok (GRIP) lo confirman plenamente.

El mar se ha considerado clásica y acertadamente como el gran sumidero de CO₂. De hecho, el exceso actual de CO₂ atmosférico se reflejará en un cambio en las condiciones químicas del agua del mar y la biomasa marina será severamente afectada.

El proceso que se ha desencadenado es irreversible. Tendrá que transcurrir un periodo temporal geológico para acercarse de nuevo a las condiciones naturales. No obstante, cualquier medio para minimizarlo es básico, ya que se trata de una sucesión de numerosos procesos retroalimentados cuya velocidad, conforme se avanza en su conocimiento, resulta ser exponencialmente mayor de lo calculado. En definitiva, se ha de procurar un *atterrizaje suave* en la nueva situación y ello solamente se puede hacer siguiendo una receta elemental: concienciación social, cambios de hábitos, energías renovables y energía nuclear.

También deberían desarrollarse proyectos de investigación que permitan determinar si a nivel secular, decadal o anual se ha registrado la influencia antrópica desde el siglo XIX. La búsqueda de zonas de estudio que tengan registros naturales será nuestro próximo desafío. ■

BIBLIOGRAFÍA

— Goodess, C.M., Palutikof, J.P., Davies, T.D. (1988). *Studies of climatic effects relevant to site*

selection and to assessments of the radiological impact of disposal at selected sites. Nirex Safety Series, NNS/R137.

— Torres, T., Cobo, R., Canoira, L., García Cortés, A., Grün, R., Hoyos, M., Juliá, R., Llamas, J., Mansilla, H., Meyer, V., Quintero, I., Soler V., Valle, M., Coello, F.J., García-Alonso, P. (1995). *Aportaciones al conocimiento de la evolución paleoclimática y paleoambiental en la Península Ibérica durante los dos últimos millones de años, a partir del estudio de travertinos y espeleotemas*. Enresa, publicación técnica 03/96, Madrid, 118 pp.

— Torres, T., Ortiz, J.E., Alcalde, C., Badal, E., Castroviejo, R., Cobo, R., Chacón, E., Delgado A., Demoustier, A., Fernández-Gianotti, J., Figueiral, I., García-Amorena, I., García-Martínez, M.J., Llamas, J.F., Juliá, R., Postigo, J.M., Rubiales, J.M., Reyes, E., Sepherd, T., Soler, V., Valle, M. (2003). *Evolución paleoambiental de la mitad sur de la Península Ibérica. Aplicación a la evaluación del comportamiento de los repositorios de residuos radiactivos*. Enresa, publicación técnica 4/03, Madrid, 173 pp.

— Valle, M., Rivas, M.R., Lucini, M., Ortiz, J.E., Torres, T. (2003). *Interpretación paleoecológica y paleoclimática del tramo superior de la turbera de Padul (Granada, España) a partir de datos palinológicos*. Pollen 13, 85-95.

The European Union BIOCLIM project meant a Copernican turnaround in the modelling and scenarios recreated on the basis of the evidently true Milankovitch theory: it placed on the table the issue of the influence of mankind as a result of the atmospheric CO₂ from the industrial era, modelling three CO₂ scenarios (natural moderate and high), which are reflected in figure 5.

It is easy to deduce that man-made climate effects are quite simply irreversible and that the return to normal conditions, of astronomic forcing, would take place only over periods of several hundreds of thousands of years.

It has been established that the responses to insolation forcing appear to be manifested earlier in the southern hemisphere and the tropics than in the northern hemisphere. The Antarctic will have a decisive influence on the future evolution of the climate since it controls the formation of saline brine: during glacial periods there is a marked thermal and saline stratification of seawater (colder and more saline below), while during inter-glacial periods, such as the present, the deeper waters are cold but with quite low levels of salinity, a phenomenon that is aggravated currently by the accelerated melting of the Antarctic ice. This means a lower concentration of atmospheric CO₂ during cold periods and higher concentrations during warmer periods. The bubbles of air occluded in the Arctic ice of the Vostok borehole (GRIP) fully confirm this.

The sea has long and accurately been known as the great CO₂ sink. In fact, the current excess of atmospheric CO₂ will lead to a change in the chemical conditions of seawater and the marine biomass will be severely affected.

The process that has been unleashed is irreversible. It will be necessary for a geological age to pass in order to come close again to natural conditions. Nevertheless, any means of minimising the process is of basic importance, since the phenomenon is a series of numerous intertwined processes that, as understanding of them increases, are seen to unfold at a speed that

is exponentially greater than that calculated. In short, the aim should be to achieve a *soft landing* in the new situation, and that will be possible only through an elementary approach based on social awareness, changing habits, renewable energy sources and nuclear power.

There should also be research projects making it possible to determine whether the influence of mankind has been registered since the 19th century, at century, decade or annual level. The search for study areas presenting natural registers will be our next challenge. ■

Bibliography

— Goodess, C.M., Palutikof, J.P., Davies, T.D. (1988). *Studies of climatic effects relevant to site selection and to assessments of the radiological impact of disposal at selected sites*. Nirex Safety Series, NNS/R137.

— Torres, T., Cobo, R., Canoira, L., García Cortés, A., Grün, R., Hoyos, M., Juliá, R., Llamas, J., Mansilla, H., Meyer, V., Quintero, I., Soler V., Valle, M., Coello, F.J., García-Alonso, P. (1995). *Aportaciones al conocimiento de la evolución paleoclimática y paleoambiental en la Península Ibérica durante los dos últimos millones de años, a partir del estudio de travertinos y espeleotemas*. Enresa, publicación técnica 03/96, Madrid, 118 pp.

— Torres, T., Ortiz, J.E., Alcalde, C., Badal, E., Castroviejo, R., Cobo, R., Chacón, E., Delgado A., Demoustier, A., Fernández-Gianotti, J., Figueiral, I., García-Amorena, I., García-Martínez, M.J., Llamas, J.F., Juliá, R., Postigo, J.M., Rubiales, J.M., Reyes, E., Sepherd, T., Soler, V., Valle, M. (2003). *Evolución paleoambiental de la mitad sur de la Península Ibérica. Aplicación a la evaluación del comportamiento de los repositorios de residuos radiactivos*. Enresa, publicación técnica 4/03, Madrid, 173 pp.

— Valle, M., Rivas, M.R., Lucini, M., Ortiz, J.E., Torres, T. (2003). *Interpretación paleoecológica y paleoclimática del tramo superior de la turbera de Padul (Granada, España) a partir de datos palinológicos*. Pollen 13, 85-95.